

## PEMBUATAN LAPISAN TIPIS $\text{SnO}_2$ DENGAN METODE SPUTTERING DC UNTUK SENSOR GAS CO

Sayono, Suprpto, Sunardi

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281

### ABSTRAK

**PEMBUATAN LAPISAN TIPIS  $\text{SnO}_2$  DENGAN METODE SPUTTERING DC UNTUK SENSOR GAS CO.** Telah dilakukan pembuatan lapisan tipis  $\text{SnO}_2$  dengan metode sputtering DC untuk gas CO. Pembuatan lapisan tipis  $\text{SnO}_2$  dilakukan dengan parameter sputtering pada tegangan elektroda 2 kV, arus 10 mA, tekanan vakum  $5 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 30 menit, 60 menit dan 120 menit pada suhu substrat  $250^\circ\text{C}$ , sedangkan gas sputtering adalah gas argon. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lapisan tipis  $\text{SnO}_2$  yang dideposisi dengan parameter sputtering : tegangan 2 kV, arus 10 mA, tekanan  $5 \times 10^{-2}$  Torr, waktu 120 menit dan suhu  $250^\circ\text{C}$  mempunyai sensitivitas optimum 23 % untuk mendeteksi gas CO pada konsentrasi 106,25 ppm. Kemudian dari hasil analisis unsur lapisan  $\text{SnO}_2$  pada kondisi optimum menggunakan SEM-EDS diperoleh Sn sebesar 31,73%, O sebesar 67,37 % atom.

**Kata Kunci :** Sputtering, lapisan tipis  $\text{SnO}_2$ , Sensitivitas dan sensor gas.

### ABSTRACT

**FABRICATION OF  $\text{SnO}_2$  THIN FILM FOR CO GAS SENSOR USING DC SPUTTERING METHOD.** Fabrication of  $\text{SnO}_2$  thin film for CO gas sensor using DC sputtering has been carried out. The fabrication was done with sputtering parameters at electrode voltage of 2 kV, current 10 mA, vacuum pressure  $5 \times 10^{-2}$  torr, deposition time 30 minutes, 60 minutes and 120 minutes at temperature  $250^\circ\text{C}$  while as gas sputtering was argon. The results showed that  $\text{SnO}_2$  thin films with parameter process voltage 2 kV, current 10 mA, pressure  $5 \times 10^{-2}$  Torr, time 120 minutes and temperature deposition was  $250^\circ\text{C}$  have optimum sensitivity to detect CO gas. It's measured at 106.25 ppm. SEM-EDS analysis showed that at this optimum condition of  $\text{SnO}_2$  thin film was content of oxygen (O) and Sn were 67.37% and 31.73 % atoms respectively.

**Key word :** Sputtering,  $\text{SnO}_2$  thin film, sentivities and gas sensor.

### PENDAHULUAN

Gas merupakan suatu zat yang paling fleksibel pergerakannya dan tidak tampak jika dilihat dengan mata telanjang. Gas ada yang bermanfaat dan ada yang berbahaya bila berada di sekitar kita, antara lain gas beracun yang sangat berbahaya bagi manusia adalah gas CO jika dalam konsentrasi yang besar. Gas CO bila terhirup dalam tubuh akan mengikat oksigen dalam darah dan pada resiko yang paling tinggi dapat menimbulkan kematian.

Aplikasi semikonduktor oksida logam sebagai sensor gas dikembangkan dalam 2 tipe yaitu pertama untuk memonitor atmosfer dengan parameter utama adalah tekanan parsial oksigen. Dan kedua untuk memonitor unsur-unsur atmosfer dalam konsentrasi relatif kecil dan kondisi udara normal<sup>[1]</sup>. Sensor gas adalah alat yang dipakai untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan udara dan kemudian menghasilkan sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan konsentrasi gas.

Semikonduktor oksida mempunyai rancangan sederhana dan harga yang relatif murah, hal ini menyebabkan bahan tersebut menonjol sebagai bahan pilihan untuk digunakan dalam penyediaan perangkat *multi-sensor*<sup>[2]</sup>. Walaupun demikian penggunaan semikonduktor oksida sebagai sensor gas terus mengalami penyempurnaan khususnya sifat sensitivitas dan selektivitas yang merupakan dua isu penting dalam perangkat sensor gas.

Lapisan tipis oksida logam merupakan salah satu jenis dari sekian banyak bahan lapisan tipis yang telah dikembangkan menjadi sensor gas semikonduktor. Keadaan ini dimungkinkan karena struktur dan sifat elektrik lapisan tipis oksida dapat dikontrol dalam proses pembuatannya, sehingga dapat mengubah tingkat sensitivitasnya jika berada dalam lingkungan gas.

Banyak teknik yang digunakan untuk membuat lapisan tipis (*thin film*), diantaranya adalah dengan metode *sputtering*. Metode *sputtering* mempunyai keunggulan diantaranya : dapat menyediakan bahan lapisan tipis yang

seragam, padat (*dense*), memenuhi stoikiometri dan apabila proses *sputtering* telah dimatikan, maka seluruh proses deposisi akan segera berhenti<sup>[3]</sup>.

Para peneliti sekarang sedang mengembangkan penggunaan lapisan tipis oksida logam seperti: TiO<sub>2</sub>, ZnO, CeO<sub>2</sub>, dan SnO<sub>2</sub> untuk dapat mendeteksi keberadaan gas. Diantaranya lapisan tipis yang dikembangkan adalah lapisan tipis SnO<sub>2</sub>. Karena lapisan tipis ini mampu mendeteksi beberapa macam gas dengan baik diantaranya adalah gas CO. Pendeteksian gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan lapisan tipis dengan gas yang dideteksi<sup>[3]</sup>.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dengan metode *sputtering* DC sebagai sensor gas CO untuk memperoleh parameter proses yang tepat/kondisi optimum sehingga diperoleh lapisan tipis SnO<sub>2</sub> yang dapat digunakan sebagai sensor gas CO dengan mempunyai sensitivitas tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh pengetahuan dan penguasaan teknologi pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> sebagai bahan sensor gas CO dengan metode *sputtering* DC. Sedangkan manfaatnya adalah dapat diperoleh suatu bahan baru yang dapat digunakan untuk pembuatan sensor gas yang mempunyai sensitivitas tinggi.

Untuk mengetahui keberhasilan dari pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dengan *sputtering* DC, maka dilakukan karakterisasi yang meliputi: pengukuran resistansi dan sensitivitas/kepekaan tanggap terhadap gas CO, analisis struktur mikro dan komposisi kimia digunakan SEM-EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive X-Ray spectroscopy*).

## DASAR TEORI

Dalam pembuatan lapisan tipis untuk sensor gas dilakukan dengan teknik *sputtering* DC yaitu suatu proses jika suatu permukaan bahan padat (*target*) mengalami tembakan partikel-partikel atau ion berenergi, maka bahan (dalam bentuk atom-atom) dari permukaan *target* tersebut akan terpercik keluar akibat proses transfer momentum. Parameter-parameter *sputtering* akan sangat menentukan konduktivitas bahan adalah tegangan elektroda, arus, jarak antara elektroda, suhu substrat, tekanan gas dan waktu deposisi.

### Sputtering DC

Sistem *sputtering* DC terdiri dari dua elektroda yaitu anoda dan katoda. Pada anoda ditempatkan substrat (bahan yang akan dilapisi) yang dilengkapi dengan pemanas untuk membuka pori-pori substrat, sehingga bahan yang dideposisi di atas permukaan substrat dapat melekat lebih kuat dan tidak mudah mengelupas. Pada katoda dipasang bahan *target* dan dilengkapi dengan pendingin (*water cooling system*) yang berfungsi menghindarkan bahan *target* agar tidak meleleh akibat suhu yang terlalu tinggi.

Untuk membersihkan molekul-molekul dalam tabung reaktor plasma sehingga diperoleh tekanan yang rendah, maka dilakukan penghampaan dengan pompa rotari dan difusi hingga mencapai tekanan 10<sup>-5</sup> Torr. Sangat penting untuk diperhatikan bahwa teknik ini bisa kita gunakan untuk mengontrol kepresisian lapisan tipis semikonduktor yang kita buat yaitu dengan mengatur waktu deposisi, tegangan dan arus dari sumber daya DC yang digunakan.

Dalam sistem *sputtering* DC, partikel-partikel *tersputter* bertumbukan dengan molekul-molekul gas dan berdifusi pada substrat, karena tekanan gas sangat tinggi dan jalan bebas rerata partikel terpercik kurang dari jarak antara elektroda. Jumlah material terpercik yang terdeposit suatu satuan luas substrat  $W$  diberikan oleh persamaan (1)<sup>[4]</sup>.

$$W \cong k_1 W_0 / pd \quad (1)$$

dengan,  $W$  merupakan jumlah bahan yang *tersputter* yang menempel pada substrat,  $k_1$  adalah suatu konstanta ( $r_c/r_a$ ) dengan  $r_c$  dan  $r_a$  masing-masing adalah jari-jari katoda dan anoda (bernilai 1 untuk sistem planar),  $W_0$  adalah jumlah partikel yang *tersputter* dari satuan luas katoda,  $p$  adalah tekanan gas lucutan,  $d$  adalah jarak antar elektroda dan laju deposisi  $R_d$  diberikan oleh persamaan (2)<sup>[4]</sup>.

$$R_d = W / t \quad (2)$$

Sedangkan jumlah atom *tersputter* dari satuan luas katoda  $W_0$  diberikan persamaan 3.

$$W_0 = \frac{J_+ S t A}{e N_A} \quad (3)$$

dalam hal ini  $J_+$  adalah rapat arus ion pada katoda,  $t$  adalah waktu *sputter*,  $e$  adalah muatan elektron,  $S$  adalah hasil *sputtering*,  $A$  adalah berat atom. Dengan asumsi bahwa arus ion mendekati sama dengan arus lucutan  $I_s$  dan hasil *sputtering* ( $S$ ) sebanding dengan tegangan lucutan  $V_d$  maka jumlah total partikel terpercik diberikan oleh persamaan (4)<sup>[4]</sup>.

$$W = \frac{V_d I_d t}{pd} \quad (4)$$

sehingga deposit tersputter sebanding  $V_d$ ,  $I_d$ , dan  $t$  akibatnya makin besar waktu, makin banyak bahan terpercik. Pengaruh tekanan terhadap *sputtering* menunjukkan apabila terlalu kecil tekanan maka ion-ion penumbuk terlalu sedikit namun terlalu besar tekanan ion-ion penumbuk banyak tetapi tidak efisien.

Hasil *sputtering* berubah dengan energi partikel atau ion yang datang dan menumbuk target. Energi *sputtering* yang dipindahkan pada saat proses tumbukan dirumuskan oleh persamaan (5)<sup>[4]</sup>.

$$E_1 = \frac{4M_1 M_2 E_2}{(M_1 + M_2)} \quad (5)$$

dengan  $E_1$  energi kinetik partikel penumbuk,  $M_1$  massa partikel penumbuk,  $M_2$  massa target,  $E_2$  energi yang ditransfer partikel bermassa  $M_1$  ke atom  $M_2$ . Tenaga yang dipindahkan ini digunakan untuk melepaskan atom-atom bahan target serta sisanya merupakan energi kinetik atom terpental untuk menuju ke substrat, artinya berlangsung proses deposisi atom-atom target di atas substrat.

### Hasil Sputtering

Hasil *Sputtering*  $S$  didefinisikan sebagai jumlah rata-rata atom-atom yang dipindahkan dari permukaan target per ion penumbuk<sup>[4]</sup>. Hasil *sputtering* dirumuskan pada persamaan 6 :

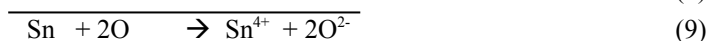
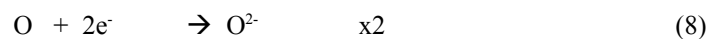
$$S = \frac{\text{Atom-atom yang dipindahkan}}{\text{Ion - ion penumbuk}} \quad (6)$$

Hasil *sputtering* akan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti energi partikel yang datang, material target, sudut datang partikel pada permukaan target, struktur kristal permukaan target.

### Lapisan tipis SnO<sub>2</sub> sebagai sensor gas

SnO<sub>2</sub> merupakan jenis semikonduktor oksida logam celah pita lebar tipe-n yang banyak diaplikasikan sebagai bahan dasar sensor gas<sup>[1]</sup>. Sifat listrik SnO<sub>2</sub> nanokristal sepenuhnya bergantung pada ukuran kristal dan keadaan permukaan yang dihasilkan oleh serapan gas yang menghasilkan penampakan ruang dan modulasi pita<sup>[5]</sup>.

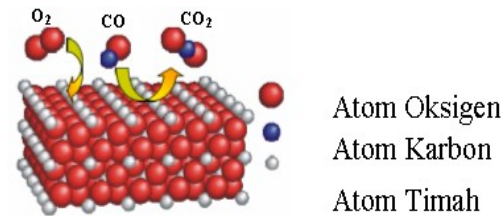
SnO<sub>2</sub> memiliki ikatan ion dengan 4 elektron. Sn menyumbangkan masing-masing 2 elektron ke atom O. adanya ikatan ionik ini menyebabkan bahan SnO<sub>2</sub> lebih sensitif terhadap perubahan molekul gas teradsorpsi dibandingkan ikatan kovalen<sup>[6]</sup>, ikatan ionik SnO<sub>2</sub> dapat digambarkan melalui persamaan (7), (8) dan (9).



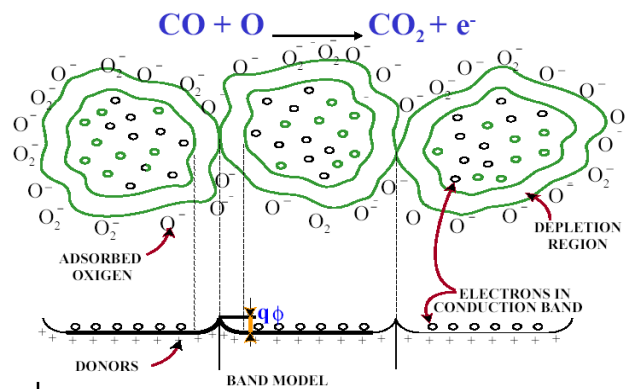
Adanya respon SnO<sub>2</sub> pada jenis gas yang berbeda, kita bisa membaginya menjadi dua kelompok besar: pada kelompok pertama terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> yang memberikan sifat mereduksi dan mudah menambah konduktivitas material. Pada kelompok kedua ada macam-macam gas seperti NO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang memiliki sifat oksidasi dan dapat mengoksidasi material serta menurunkan nilai konduktivitas material. Skema dari material sensor SnO<sub>2</sub> disajikan pada Gambar 1.

Molekul O<sub>2</sub> yang ada di udara diadsorbsi secara kimia pada material dan CO mengadsorbsi atom O dari permukaan menjadi CO<sub>2</sub>.<sup>[7]</sup>

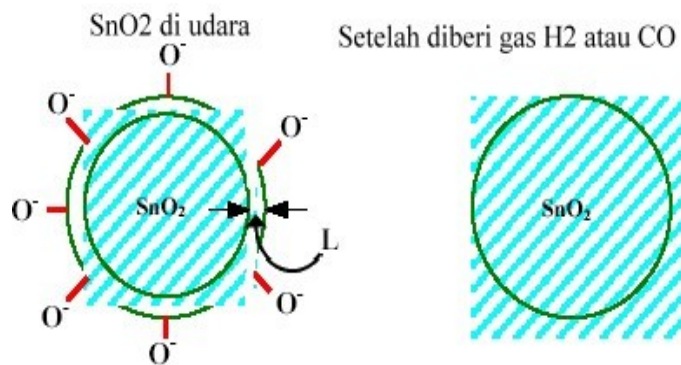
Pada kondisi udara normal, permukaan bahan semikonduktor diselubungi oleh lapisan oksigen teradsorbsi meliputi serapan fisika molekul O<sub>2</sub>. konsentrasi atom-atom tersebut selanjutnya akan menangkap elektron dari daerah dekat (sekitar) permukaan semikonduktor.<sup>[1]</sup>



**Gambar 1.** Skema dari material sensor SnO<sub>2</sub>.



**Gambar 2(a).** Proses adsorpsi oksigen oleh gas CO menjadi CO<sub>2</sub>.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2(b).** Kembalinya elektron yang diikat oleh oksigen menjadi elektron bebas dan memperkecil lebar lapisan deplesi (L).<sup>[7]</sup>

Konsentrasi atom oksigen yang menyelimuti dan teradsorbsi pada permukaan akan menangkap elektron bebas dari bahan semikonduktor oksida dan membentuk lapisan deplesi (*depletion layer*) pada daerah antara gas dan butir kristal.<sup>[7, 8]</sup> dan potensial penghalang (*potential barrier*) di daerah batas butir.<sup>[9]</sup> Terjadinya migrasi elektron dari permukaan, pembentukan lapisan deplesi dan potensial penghalang akan berpengaruh langsung terhadap konduktivitas semikonduktor tersebut secara keseluruhan.

Kehadiran molekul gas reduktor seperti gas CO akan mengikat sejumlah atom oksigen yang teradsorbsi oleh permukaan butir kristal. Hal ini berakibat dilepaskannya kembali elektron kepermukaan semikonduktor sehingga konsentrasi elektron bebas bertambah serta panjang lapisan deplesi dan tinggi penghalang antar butir (*potential barrier*) berkurang. Hal ini juga mengakibatkan kenaikan konduktivitas untuk bahan semikonduktor tipe-n.

Gas reduktor akan mengikat elektron dari lapisan permukaan, menambah tebal deplesi, memunculkan penghalang antar butir dan mengurangi konduktivitas untuk bahan semikonduktor tipe-n.

## **TATA KERJA PENELITIAN**

### **Persiapan Substrat**

Substrat yang akan digunakan untuk pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> adalah kaca preparat yang dipotong dengan ukuran 10 mm × 20 mm. ukuran ini disesuaikan dengan holder substart yang terdapat pada mesin *sputtering* DC. Setelah dibentuk, kaca preparat dicuci untuk menghilangkan kotoran/lemak yang menempel pada permukaan substrat dengan campuran air bersih dan deterjen, selama direndam dengan deterjen digetarkan dengan *ultrasonic cleaner* selama 30 menit. Kemudian kaca preparat dibersihkan dengan alkohol 99% sambil digetarkan lagi dengan *ultrasonic cleaner* selama 30 menit. Agar terbebas dari zat-zat pengotor yang melekat, selanjutnya dikeringkan dengan pemanas (*oven*) dengan suhu 100 °C selama 60 menit, dan setelah dingin dimasukkan dalam plastik klip.

### **Proses penumbuhan lapisan tipis**

Peralatan sistem *sputtering* yang digunakan dalam pendeposisian lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dan kontak Ag adalah sistem *sputtering* DC, dalam sistem ini menggunakan catu daya tegangan tinggi DC.

Pembuatan lapisan tipis terdiri atas dua tahap yaitu tahap proses pendeposisian lapisan tipis dan tahap pembuatan kontak perak untuk terminal pada kedua ujung lapisan tipis. Pada proses penumbuhan lapisan tipis terlebih dulu substrat kaca diletakkan pada anoda dan target SnO<sub>2</sub> pada katoda, substrat dipanaskan pada suhu 250 °C agar pori-pori permukaan substrat terbuka sehingga atom target mudah tertanam pada permukaan substart. Sementara target SnO<sub>2</sub> didinginkan dengan sistem aliran air pendingin agar target tidak berubah bentuk akibat panas yang terlalu tinggi. Kemudian tabung reaktor *sputtering* dihampakan hingga mencapai 10<sup>-5</sup> torr selanjutnya gas argon dialirkan ke tabung *sputtering* DC hingga nilai kevakuman akan berkurang menjadi sekitar 5.10<sup>-2</sup> torr. Setelah kondisi tersebut tercapai maka sumber tegangan tinggi mesin *sputtering* dihidupkan dengan mengatur tegangan tinggi DC sebesar 2 kV dan arus 10 mA. Proses pendeposisian dilakukan dengan variasi waktu : 30 menit, 60 menit dan 120 menit.

### **Pembuatan kontak perak**

Proses pelapisan kontak perak bertujuan untuk membuat terminal pada kedua ujung sensor agar mempermudah dalam pengukuran/karakterisasinya, karena dengan diberi kontak perak maka pengukuran resistansi menjadi untuk setiap titik pengukuran menjadi sama dan nilai resistansinya lebih kecil karena tersambung paralel. Pembuatan lapisan kontak perak ini sama langkahnya sama dengan proses penumbuhan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> yaitu dengan menggunakan sistem *sputtering* DC. Perbedaannya adalah target yang digunakan perak (Ag) dan alumunium foil untuk melindungi daerah yang tidak ingin dilapisi kontak perak (daerah sensor) dan waktu deposisi pembuatan kontak perak adalah 15 menit.

### **Pengujian sensor**

Untuk mengetahui keberhasilan pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> untuk sensor gas, maka dilakukan pengujian/karakterisasi sensor SnO<sub>2</sub> terhadap gas CO yang meliputi : pengukuran resistansi sensor, sensitivitas, selektivitas terhadap gas uji dan analisis unsur serta struktur mikro permukaan sensor menggunakan SEM-EDS.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk mengetahui keberhasilan proses pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dengan variasi waktu deposisi *sputtering* DC pada permukaan substrat kaca untuk bahan dasar sensor gas CO, maka dilakukan pengujian /karakterisasi yang meliputi: pengukuran resistansi, suhu sensor, sensitivitas, selektivitas terhadap gas uji dari sensor gas yang telah dibuat. Kemudian untuk mendukung dan melengkapi data penelitian dilakukan analisis struktur mikro, analisis unsur dan tebal lapisan tipis SnO<sub>2</sub> yang terbentuk menggunakan SEM-EDS.

### **Penentuan Suhu Operasi Sensor**

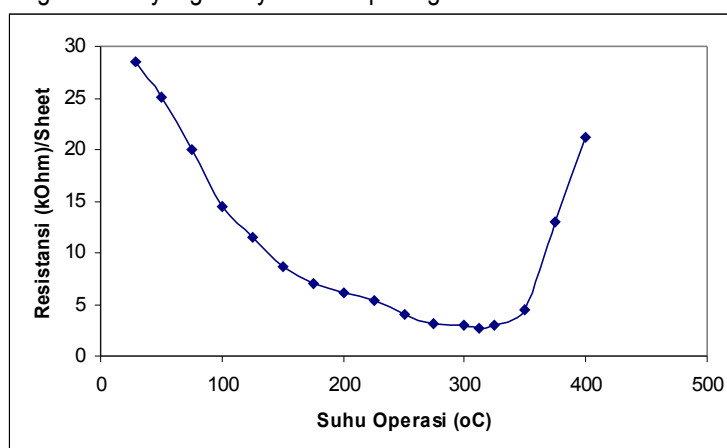
Penentuan suhu operasi sensor dilakukan dengan memberikan perubahan suhu secara bertahap dari 25 °C – 400 °C dengan interval 25 °C dan setiap kenaikan suhu 25 °C dilakukan pengukuran resistansi yang hasilnya

ditunjukkan pada Gambar 3. Pemilihan batas maksimal suhu 400 °C dikarenakan SnO<sub>2</sub> tergolong semikonduktor oksida logam yang memiliki gejala efek konduktansi permukaan (*surface conductance effect*) sehingga memiliki unjuk kerja yang sangat baik sebagai sensor gas pada suhu antara (200 – 400) °C (Cobos, 2001).

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa suhu operasi sensor yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai resistansi semakin rendah. Hal ini terjadi karena waktu *sputtering* 120 menit menghasilkan jumlah atom-atom SnO<sub>2</sub> yang tersepater menuju substrat akan bertambah semakin banyak. Akibatnya atom-atom SnO<sub>2</sub> yang terkumpul di atas permukaan substrat semakin besar sehingga berpengaruh terhadap naiknya konduktivitas atau menurunnya resistansi bahan sensor.

Penurunan resistansi bahan semikonduktor SnO<sub>2</sub> juga dipengaruhi oleh kenaikan suhu. Tetapi walaupun suhu terus dinaikkan penurunan nilai resistansi akan semakin kecil dan menuju kondisi yang stabil. Hal ini sebagai akibat adanya migrasi elektron dari pita valensi menuju ke pita konduksi (menjadi elektron bebas). Pada keadaan suhu 250–350 °C penurunan nilai resistansi telah menunjukkan kestabilan. Hal ini berarti bahwa nilai resistansi pada kondisi tertentu nilainya sudah tidak terpengaruh oleh kenaikan suhu, pada kondisi rentang suhu tersebut bahan SnO<sub>2</sub> dapat berfungsi sebagai sensor gas karena perubahan nilai resistansi tidak dipengaruhi oleh panas tetapi disebabkan adanya proses serapan gas yang mengenai permukaan bahan sensor. Pada penelitian ini suhu operasi sensor ditetapkan 300 °C sebagai suhu operasi untuk pengujian sensor selanjutnya..

Apabila suhu sensor terus dinaikkan, maka resistansi kembali menunjukkan gejala kenaikan hal ini sesuai pendapat Gaskov dan Rumyantseva (1999) yang mengatakan bahwa hal tersebut dapat terjadi karena pada suhu di atas suhu operasi sensor, oksigen yang teradsorpsi akan menarik elektron dari bagian dalam butir yang mengakibatkan pertambahan ketebalan lapisan deplesi yang terlalu besar sehingga seluruh butir akan berada pada daerah bebas/kosong elektron yang menyebabkan peningkatan resistivitas.



**Gambar 3.** Perubahan suhu operasi terhadap nilai resistansi dari lapisan tipis SnO<sub>2</sub> yang dideposisi selama 120 menit.

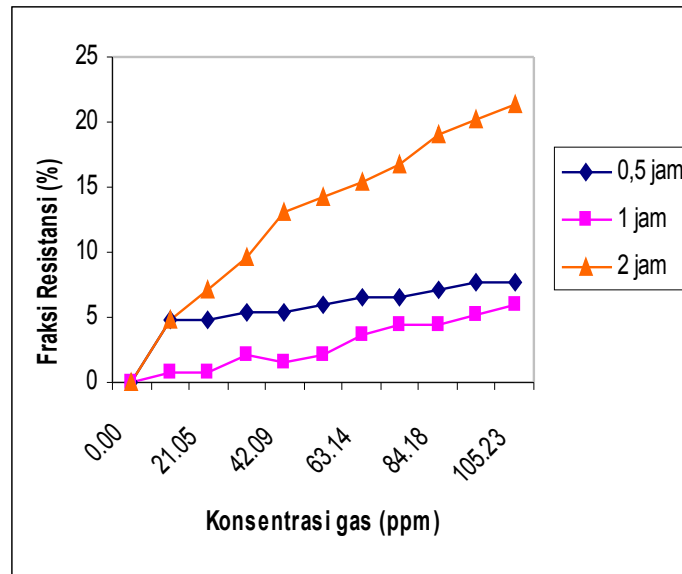
#### Pengujian Sensitivitas Sensor Terhadap Gas CO

Pengujian sensitivitas dilakukan cara variasi konsentrasi gas uji CO pada sampel yang dideposisi selama 30, 60 dan 120 menit, pemilihan gas CO berdasar pertimbangan bahwa gas CO merupakan gas polutan/pencemar sehingga diharapkan sensor gas yang dibuat nantinya dapat digunakan untuk mendeteksi gas tersebut dengan sensitivitas yang tinggi. Hasil pengujian sensitivitas sensor disajikan pada Gambar 4.

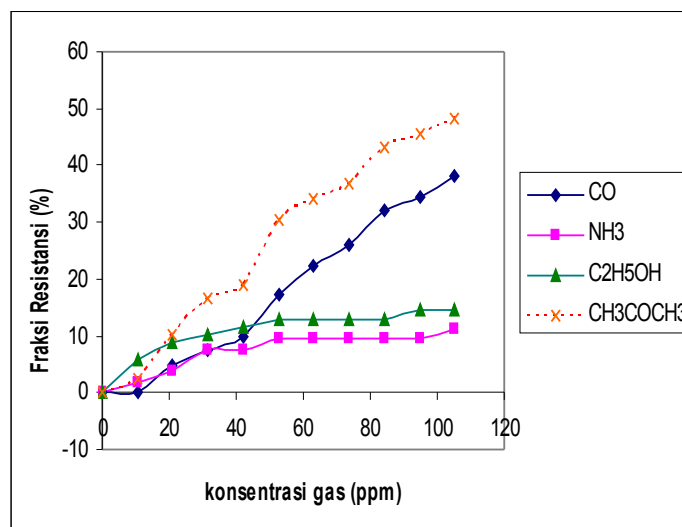
Pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin lama waktu *sputtering*, maka semakin tinggi nilai sensitivitas sensor. Dan nilai sensitivitas tertinggi dicapai oleh perlakuan waktu *sputtering* 120 menit yakni sebesar 23 % lebih tinggi bila dibanding dengan sampel yang dideposisi dengan waktu 30 dan 60 menit yang menghasilkan sensitivitas masing-masing 5,4% dan 5,1%. Hal ini terjadi karena waktu deposisi selama 120 menit menghasilkan kerapatan atom-atom SnO<sub>2</sub> yang tersputter pada permukaan substrat kaca lebih tinggi dan homogen bila dibanding dengan perlakuan sampel yang dideposisi selama 30 dan 60 menit sehingga daya serap terhadap gas CO akan lebih banyak, hal ini akan meningkatkan jumlah elektron pada permukaan sensor semakin banyak dengan demikian konduktivitas bahan sensor meningkat.

### Selektivitas Sensor Pada Gas CO

Pada pengujian ini diambil sampel yang memiliki sensitivitas dan linieritas terbaik pada gas CO yaitu sampel dengan waktu *sputtering* 2 jam dan waktu pendinginan 15 jam. Hasil pengukuran sensitivitas terhadap beberapa uji gas ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Sensitivitas sensor terhadap gas CO pada sampel yang dideposisi selama 30 menit, 60 menit dan 120 menit.



**Gambar 5.** Selektivitas sensor terhadap beberapa gas uji.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa dengan parameter waktu *sputtering* 2 jam dan pendinginan 1 malam untuk gas  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  grafik cenderung konstan pada jumlah gas 40 ppm sampai dengan 100 ppm dan kurang sensitif (keduanya termasuk jenis gas yang sama dengan gas CO yaitu gas reduktor) sedangkan pada gas  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  memiliki sensitivitas yang hampir sama dengan gas CO namun gas tersebut merupakan gas oksidator yang reaksinya berkebalikan dengan gas CO yaitu semakin banyak konsentrasi gas konduktivitasnya semakin menurun, ini terjadi karena pada gas oksidator elektron yang berada pada permukaan sensor justru berpindah ke uap gas oksidator sehingga permukaan sensor kekurangan elektron yang berakibat turunnya konduktivitas bahan atau nilai resistansi semakin naik.

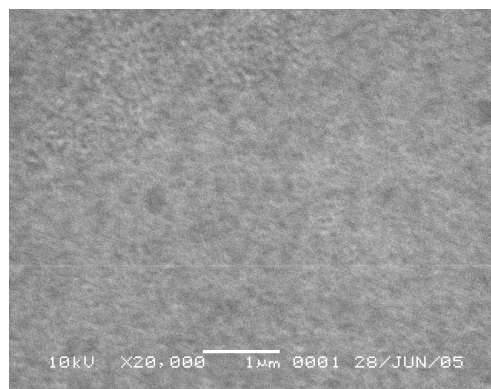
### Struktur Mikro dan Analisis Unsur Dengan SEM-EDS

Hasil foto struktur mikro permukaan pada lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *DC sputtering* yang di-deposisi 30 menit dan 120 menit ditunjukkan oleh Gambar 6a dan 6b.

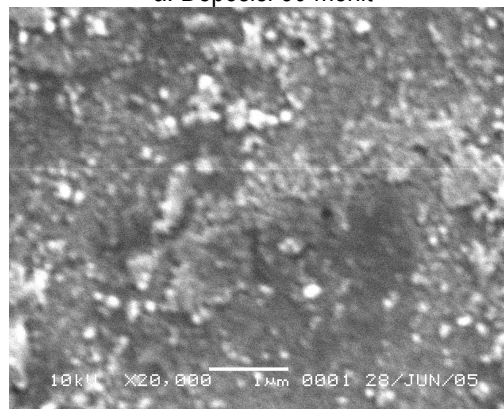
Dari Gambar 6a menunjukkan bahwa pada deposisi 30 menit, butir-butir SnO<sub>2</sub> yang terdeposit terlihat lebih kecil dan rapat bila dibandingkan pada deposisi 120 menit yang ditunjukkan pada Gambar 6b. Hal ini terjadi karena waktu untuk deposisi masih terlalu rendah sehingga atom-atom yang terdeposit masih sedikit. Tetapi setelah waktu deposisi ditingkatkan menjadi 120 menit, maka selain akan meningkatkan jumlah atom SnO<sub>2</sub> di atas permukaan juga dengan bertambahnya waktu deposisi akan menyebabkan terjadinya panas yang timbulkan oleh proses deposisi tersebut. Dengan timbulnya panas akibat proses deposisi akan berpengaruh terhadap ukuran butir atom SnO<sub>2</sub> yang semakin besar.

Hasil analisis unsur lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dari hasil *sputtering* menggunakan EDS (*electron dispersive X-Ray spectroscopy*) disajikan pada Gambar 7a dan 7b.

Pada Gambar 7a menunjukkan perbandingan % atom untuk unsur Sn dan O pada lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *sputtering*. Dari analisis unsur dengan EDS tersebut menunjukkan bahwa banyaknya atom O sebesar 67,37 %, atom Si 0,91 % dan atom Sn 31,73 % yang berarti setiap atom Sn mengikat 2 atom oksigen, kemudian munculnya atom Si menunjukkan terdeteksinya atom substrat sebagai bahan induk. Hal ini terjadi karena waktu deposisi yang relatif pendek (30) menit membuat atom-atom SnO<sub>2</sub> yang terdepositasi belum mampu menutup seluruh permukaan substrat. Sedang pada Gambar 7b. menunjukkan bahwa banyaknya atom O sebesar 69,32 %, dan atom Sn 30,73. Setelah waktu deposisi dinaikkan dari 30 menit menjadi 120 menit, maka atom-atom SnO<sub>2</sub> yang terdeposit di atas permukaan substrat semakin banyak hal ini akan berpengaruh pada naiknya prosentase unsur O dan penurunan unsur Sn. Dalam hal ini unsur Si sudah tidak terdeteksi lagi karena seluruh permukaan substrat telah dipenuhi oleh atom SnO<sub>2</sub> yang semakin rapat.



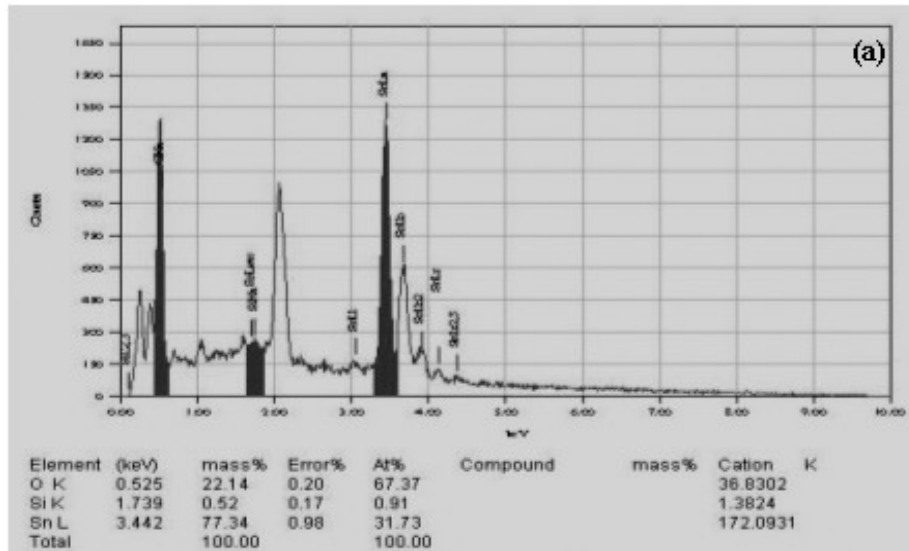
a. Deposisi 30 menit



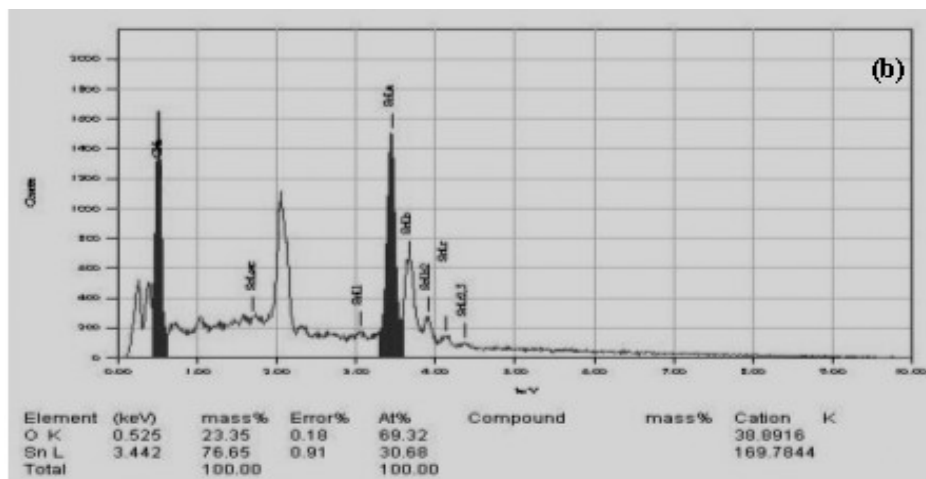
b. Deposisi 120 menit

**Gambar 6.** Struktur mikro permukaan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *sputtering* dengan waktu deposisi 30 menit dan waktu 120 menit dengan pembesaran 20.000 kali.





**Gambar 7a.** Analisis unsur lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *DC sputtering* dengan waktu deposisi 30 menit.



**Gambar 7b.** Analisis unsur lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *DC sputtering* dengan waktu deposisi 120 menit.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pembuatan lapisan tipis SnO<sub>2</sub> dengan metode *sputtering* DC sebagai bahan sensor gas CO dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Telah berhasil dibuat lapisan tipis SnO<sub>2</sub> hasil *DC sputtering* sebagai bahan dasar sensor gas CO dengan suhu operasi sensor gas SnO<sub>2</sub> adalah 300 °C.
- Sensor gas yang dibuat dengan waktu *sputtering* 120 menit mempunyai sensitivitas tertinggi terhadap gas CO sebesar 23% dan sensitivitas terendah sebesar 5,1% diperoleh dengan waktu *sputtering* 60 menit.
- Pada analisis unsur menggunakan EDS dari sensor yang mempunyai sensitivitas terbaik yakni dengan waktu deposisi selama 120 menit, mempunyai komposisi unsur untuk atom O sebesar 69,32%, dan atom Sn 30,73%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penelitian ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak : J. Karmadi, Sumarmo dan seluruh staf kelompok Pengembangan Aplikasi Akselerator atas segala bantuan yang telah diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. MOSELEY, P.T., Materials Selection for Semi-conductor Gas Sensors, Sensor and Actuators B, 6, 149-156, 1992.
2. MROWEC S., Defect And Difusion in Solid, Elsevier Scientific Publishing Company, Polandia, 1980.
3. MARDARE, D., RUSU, G.L., Structural and Electrical Properties of TiO<sub>2</sub> RF Sputtered Thin Films, Materials Science and Engineering, B75, 68-71, 2000.
4. WASA, K., HAYAKAWA, S., Handbook of Sputter Deposition Technology; Principles, Technology and Application, Noyes Publication, New Jersey, 1992.
5. SAFONOFA, O. V., DELABOUGLISE, G., CHEINEVER, B., GAKOV, A.M., LEBEAU, M., CO and NO<sub>2</sub> Gas Sensitivity of Nano-cristaline, Tin Dioxide thin Films Doped with Pd, Ru, and Rh, , 2002.
6. GASKOV, A.M., RUMYANTSEVA, M.N., Material for Solid Gas Sensor. Inorganic Material, Vol,36, No 293-301, 1999.
7. COBOS JA, Metal Additive Distribution in TiO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub> Semiconductor gas sensor nanostructured, Barcelona 2001.
8. FLOCKHARDT, B, D. SCOTT, JA., PINCH, R.C., TransFaraday Soc, 62, 3, 1996.
9. XU, C., TAMAKI, J., MIURA, N., YAMAZOE, N., *Grain* Size Effect on Gas Sensitivity of Porous SnO<sub>2</sub>, Sensor and Actuator B, 147-155, 1991.
10. LAMAGNA A., DAN FISHER M., Micro-machined Gas Sensor and Integrated Optical Circuit, MEMS Division Physics Dept. CAC-CNEA.